中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 44(1)：26～36 (1995)

栽培密度對玉米生育及產量之影響

I. 營養生長期[1]

魏夢麗[2] 陳烈夫[3] 姜義展[2] 劉大江[2]

摘要：玉米吐絲前的營養生長可能影響子粒產量表現，本試驗以玉米品種臺農一號爲材料，調查營養生長期間植株物質與氮素的累積與分配性狀，同時探討栽培密度的作用，以對其產量生理有進一步的瞭解。於 1991 及 1992 年秋作進行試驗，行距均爲 75 cm，1991 年採用株距 11、22 及 44cm 三種處理，1992年採用11與22cm 兩種株距，又於雄穗分化始期將部份植株株距自 11 cm 間拔爲 22 cm；在播種至吐絲期間連續取樣，分析不同器官之乾物質與氮素累積性狀。自第十二葉齡以後，栽培密度對臺農一號單株乾物質及氮素累積能力的影響方較明顯，葉片乾物質與氮素含量佔全株總量的比值快速下降，而莖稈乾物質與氮素含量佔全株總量的比值相對快速升高。玉米植株在第十二葉期至吐絲期約一個月生育期間，具有極旺盛的同化作用，植株所累積的乾物質量佔吐絲期總乾物量的 80～92 %，所累積的氮素量佔吐絲期總含氮量的 69～85 %，於密度處理間比較，則以最密植處理之比值較低。玉米植株自播種至吐絲期，生長速率持續上升，尤以吐絲前約二週之速率最高，乾物質累積速率最高可達389 kg/ha. day，氮素累積速率最高達 6.4 kg/ha. day，隨株距之增加而顯著降低。在營養生長全期，乾物質累積速率與氮素累積速率的比值有逐漸上升的趨勢，但在栽培密度處理間則多無顯著差異，顯示以單位氮素爲基準的乾物質累積速率，在不同生育階段雖然有異，但在本試驗栽培密度條件下，並不受環境因子的環境。

關鍵詞：玉米、栽培密度、營養生長、乾物質累積、氮素累積。

作物的營養生長與產量有密切的關係，就玉米而言，在吐絲以前的生長以葉片與莖稈爲主，其中建立葉面積的速率[7]與葉片生產乾物質的效率[12,19]是同化作用的基礎與決定吐絲期乾物質產量的必要條件，而莖稈則具有支持與貯藏等功能，所蓄積的養分對於果穗的分化、形成及子粒充實均具有相當的重要性[5,15,16]。

玉米在營養生長初期累積乾物質的速率緩慢，主要受限於葉面積指數，但在雄穗開始分化以後，生長速率逐漸增高，Williams et al.[22]以高密度栽培玉米，發現在雄穗抽出前12日的作物生長速率 (crop growth rate)可高達 520 kg/ha. day，顯示具有極高的乾物質生產能力。一般而言，玉米在吐絲期的乾物質累積量僅爲成熟期間最終乾物量之 40～50 %[21]，但對產量表現仍可能具有重要意義；Edmeades and Daynard[8]認爲如果玉米植株的營養生長旺盛，在吐絲期具有較高的葉面積指數與光合作用能力，則對提高每穗子粒數目具有助益。Hawkins and Cooper[11] 也指出玉米在雄穗分化

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告第 1766 號。
2. 本所農藝系助理、約僱技術員及研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。
3. 本所農場管理室助理。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

始期（tassel initiation）至吐絲期之間的全株生長速率，可經由影響每穗粒數而作用於子粒產量。此外，莖稈內預貯性碳水化合物對於提高穎花稔實率[15]及子粒充實後期的養份供應[9]，也有很高的重要性。

玉米葉片與莖稈貯存礦物元素的功能早經確認，Hanway[10]指出吐絲期營養器官內的氮素與鉀素累積量可高達成熟期總累積量約70%左右，Schrader[14]也報告多數玉米品種吸收與同化氮素的主要時期爲吐絲以前的營養生長階段，最高可達總量的80%以上，這些養分於吐絲後會大量被轉移至發育中的子粒。玉米植株在營養生長期間累積氮素的速率，與乾物質累積速率之間有密切的關係[13]，因此如何選擇適宜的肥培管理技術，提高氮肥施用效率，增進營養生長，進而提高產量，也是在玉米生產方面受到重視的課題[6]。

以往有關玉米產量生理的研究，多半偏重吐絲後子粒充實期間的表現，吐絲前營養生長全期方面的試驗資料較少，國內相關的研究尤爲缺乏。本研究採用目前主要玉米栽培品種臺農一號爲材料，施以栽培密度處理，於營養生長及子粒充實期間連續取樣，詳細調查乾物質與氮素累積性狀，解析產量表現，所得結果或可供爲改進栽培技術的參考資料，以有助於發展完整的玉米綜合經營管理策略。本文內容以吐絲期以前的營養生長階段爲主，子粒充實期的試驗結果將另文報告。

材料與方法

以單雜交玉米品種臺農一號爲試驗材料，於 1991 及 1992 年秋作在臺灣省農業試驗所農場進行田間試驗，兩年之播種日期分別爲9月20日與9月21日；試區前作均爲水稻，土壤爲坋質壤土，1992年試驗進行前分析土壤 pH 值爲 5.8，有機質含量爲 2.0 %，CEC 爲 9.7 meq/100g，有效性磷與有效性鉀之濃度分別爲 28 與 133 ppm，銨態氮及硝酸態氮濃度分別爲 17.9 與 22.2 ppm。

試驗係採用栽培密度爲處理，行距均爲 75 cm。1991年試驗之株距分爲三種，即 11、22 與 44 cm，合每公頃 121,212、60,606 與 30,303 株。1992年試驗之株距分爲 11 與 22 cm 兩種，部份株距爲 11 cm小區之植株在播種後30日玉米生育至第九葉期，即相當於雄穗分化始期[1]予以間拔，使株距爲 22 cm。試驗採用逢機完全區集設計，小區爲 8 行區，行長 8 m，重複 4 次。施用氮素量均爲 200 kg/ha，P_2O_5 用量爲 90 kg/ha，K_2O 用量爲 100 kg/ha，肥料施用方法及田間栽培管理與王等[2]之方法相同。

於植株生育至第四、八、十二與十五葉齡及吐絲期時，分別進行取樣，每次自每一小區逢機選取8～12 株爲樣品，區分爲葉片與莖稈，吐絲期之莖稈並包含果穗部位。樣品於送風乾燥箱中以 80°C連續烘乾 72～96 小時，秤量乾物量，隨後經40目篩（mesh）磨粉，以 semi-micro Kjeldahl 方法測定氮素濃度，以氮素濃度及乾物重之乘積估算氮素累積量，並計算各生育階段之乾物質與氮素累積速率。

試驗所得各項資料均經變方分析，並以 Duncan's New Multiple Range Test 分析處理間之差異顯著性。

結　果

1991 年試驗係採用 11、22 與 44 cm之株距播種，臺農一號玉米植株在生育至第八葉期時，葉片、莖稈及全株乾重於處理間均無顯著差異；第十二葉期時，最疏植（株距 44 cm）處理之乾重則較其他兩個密植處理爲高，但其後株距 22cm 處理植株乾物重增加迅速，至十五葉期與吐絲期時，與最疏植處理間已無差異，但均顯著高於最密植（株距 11 cm）處理（表1）。

1992 年試驗係採用 11 及 22 cm 兩種株距播種，在植株生育至雄穗分化始期前後，將部份 11 cm 株距之小區間拔，增大株距至 22 cm，合計亦爲三種處理。調查本年度試驗中栽培密度對植株各部位

乾物質累積性狀的影響（表1），其結果與 1991 年試驗相似，在第八葉期以前並未顯示處理效應，第十二葉期至吐絲期之間各次取樣則以疏植（株距 22 cm）處理較高。於雄穗分化始期進行間拔之處理，植株乾物質累積量在第十二葉期時與其他兩種處理並無顯著差異，但其後則呈現高於密植但低於疏植處理之趨勢（表1）。

表 1. 栽培密度對玉米臺農1號植株營養生長期乾物質累積（g/plant）的影響（1991與1992年秋作）

Table 1. Plant-spacing effect on the dry weight (g/plant) of hybrid corn Tainung No. 1 at different stages of vegetative growth (fall crops of 1991 and 1992)

Plant part	Within-row spacing[z] (cm)	Growth stage				
		4th leaf	8th leaf	12th leaf	15th leaf	Silking
		1991				
Leaf blade	11—11	0.10 a[y]	1.56 a	6.08 b	17.72 b	27.14 b
	22—22	0.13 a	1.64 a	5.99 b	22.21 a	34.21 a
	44—44	0.10 a	1.53 a	6.99 a	21.40 a	36.52 a
Stalk[x]	11—11	0.05 a	0.53 a	3.00 b	12.01 b	47.87 b
	22—22	0.06 a	0.61 a	2.78 b	14.92 a	60.44 a
	44—44	0.05 a	0.60 a	3.73 a	14.35 a	63.58 a
Whole plant	11—11	0.15 a	2.09 a	9.09 b	29.72 b	81.11 b
	22—22	0.19 a	2.24 a	8.78 b	37.12 a	104.57 a
	44—44	0.15 a	2.13 a	10.72 a	35.75 a	116.12 a
		1992				
Leaf blade	11—11	0.36 a	3.76 a	8.48 b	16.81 c	22.37 c
	11—22	(0.36)	(3.76)	9.66 b	20.10 b	28.84 b
	22—22	0.41 a	4.52 a	10.62 a	24.89 a	34.78 a
Stalk[x]	11—11	0.15 a	2.08 a	4.37 a	14.62 c	42.25 c
	11—22	(0.15)	(2.08)	5.21 a	17.30 b	60.14 b
	22—22	0.17 a	2.44 a	5.07 a	27.86 a	72.23 a
Whole plant	11—11	0.52 a	5.84 a	12.85 b	31.43 c	64.62 c
	11—22	(0.52)	(5.84)	14.87 ab	37.40 b	88.98 b
	22—22	0.57 a	6.96 a	15.69 a	52.75 a	107.01 a

[z] Figures represent, in order, spacings at planting and tassel initiation. Between-row spacing was 75 cm.

[y] Means with the same letter within a column of a specific plant part in the same year are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

[x] Including ear at silking stage.

表 1 資料同時顯示，臺農一號玉米植株於吐絲期之單株總乾物質累積量，1991 年試驗株距 11、22 及 44 cm 三個處理分別爲 81.1、104.6 及 116.1g，隨栽培密度之降低而升高。1992 年試驗之數值則較 1991 年結果爲低，株距 11 cm 處理爲每株 64.6 g，株距 22 cm 處理爲每株 107.0 g；至於雄穗分化始期行間拔處理之植株，在吐絲期之全株乾物重爲 89.0 g，介於其他兩處理之間，且差異均達顯著水準。

在播種後的生育初期，玉米植株累積之氮素量甚微，1991 年試驗第四葉期時不超過每株 10 mg

，第八葉期時亦不過每株 100 mg 左右，於三個處理間均無顯著差異（表2）。第十二葉期之葉片、莖稈及全株氮素累積量以最疏植處理較高，第十五葉期以最密植處理較低，吐絲期之每株氮素累積總量則明顯受到栽培密度處理之影響，株距 11、22 與 44 cm三個處理分別爲 1,671、2,278 及 2,613 mg，差異均達顯著水準（表2）。

表 2. 栽培密度對玉米臺農 1 號植株營養生長期氮素累積（mg/plant）的影響（1991與1992年秋作）

Table 2. Plant-spacing effect on the N accumulation (mg/plant) of hybrid corn Tainung No. 1 at different stages of vegetative growth (fall crops of 1991 and 1992)

Plant part	Within-row spacing[z] (cm)	Growth stage				
		4th leaf	8th leaf	12th leaf	15th leaf	Silking
		1991				
Leaf blade	11—11	5.1 a[y]	75.0 a	235.8 b	558.7 b	979.8 b
	22—22	6.7 a	77.4 a	241.8 b	749.6 a	1,266.6 a
	44—44	5.1 a	72.3 a	278.7 a	726.2 a	1,385.2 a
Stalk[x]	11—11	2.0 a	24.3 a	103.6 b	272.3 b	691.1 c
	22—22	2.5 a	28.6 a	102.9 b	361.9 a	1,011.1 b
	44—44	2.0 a	28.6 a	128.0 a	366.6 a	1,228.1 a
Whole plant	11—11	7.1 a	99.3 a	339.4 b	831.0 b	1,670.9 c
	22—22	9.2 a	106.0 a	344.7 b	1,111.5 a	2,277.7 b
	44—44	7.1 a	100.9 a	406.7 a	1,092.8 a	2,613.3 a
		1992				
Leaf blade	11—11	18.4 a	123.2 b	257.5 c	498.2 c	796.3 c
	11—22	(18.4)	(123.2)	304.8 b	604.3 b	978.5 b
	22—22	20.6 a	156.4 a	347.2 a	798.3 a	1,153.4 a
Stalk[x]	11—11	6.3 a	62.1 a	114.4 b	191.5 b	404.7 c
	11—22	(6.3)	(62.1)	136.1 a	315.5 a	716.9 b
	22—22	6.9 a	64.9 a	144.8 a	364.0 a	825.4 a
Whole plant	11—11	24.7 a	185.3 b	371.9 c	689.7 c	1,201.0 c
	11—22	(24.7)	(185.3)	440.9 b	919.8 b	1,695.4 b
	22—22	27.5 a	221.3 a	492.0 a	1,162.3 a	1,978.8 a

[z] Figures represent, in order, spacings at planting and tassel initiation. Between-row spacing was 75 cm.

[y] Means with the same letter within a column of a specific plant part in the same year are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

[x] Including ear at silking stage.

1992 年試驗所栽培的玉米植株，在第四及第八葉期累積的氮素量有較 1991 年試驗結果爲高的趨勢，但吐絲期的氮素含量反較 1991 年結果爲低（表2）。1992年試驗中第八葉期時疏植處理單株葉片與全株氮素累積量均以疏植處理（株距 22 cm）較高，莖稈之氮素含量在處理間則無差異。第十二葉期以後，大致呈現疏植植株含有較多量氮素的趨勢，而雄穗分化始期行間拔處理植株之氮素累積量，則多介於疏、密植兩項處理之間。吐絲期株距 11 與 22cm 植株氮素總含量分別爲 1,201 與 1,979 mg /plant，低於 1991 年試驗所得結果，而間拔處理爲 1,695 mg/plant（表2）。

將玉米植株營養生育粗分爲兩個階段，其一爲播種至第十二葉期，其二爲第十二葉期至吐絲期，兩個階段之生育日數雖因年度而略有不同，但仍極爲接近，在 1991 與 1992 年前者分別爲 35 與 38 日，後者爲 28 與 27 日。玉米植株在第一階段的生育較爲緩慢，所累積之乾物質與氮素量較爲有限，但自第十二葉期以後所記錄之生長則極爲迅速。由表3資料得知於第二生育階段所累積的乾物量與吐絲期總乾物量的比值，以葉片部位較低，但亦在 62～83 %之間以上，1991 年試驗於處理間沒有顯著差異，且其數值高於 1992 年試驗的比值。同一生育階段莖稈部位累積的乾物量最爲明顯，佔吐絲期莖稈乾物量的 90 %以上，最高可達 95 %，兩個年度之間的表現較爲相近，未顯示處理效應。就全株而言，雖然第二生育階段的持續日數較第一生育階段爲少，但卻可累積超過吐絲期總乾物質量的 80 %以上，除 1992 年試驗株距 11 cm 處理的比值低於株距 22 cm 處理外，其他均無顯著差異存在(表3)。

表 3. 玉米臺農1號植株於第十二葉期至吐絲期間乾物質及氮素累積量與吐絲期總含量之比值 (%)
(1991與1992年秋作)

Table 3. Ratios (%) of the amounts of dry matter and N accumulated between the 12th leaf stage and silking to the amounts of dry matter and N accumulated at silking stage for hybrid cornd Tainung No.1 under different planting densities (fall crops of 1991 and 1992)

Item	Within-row spacing[z] (cm)	Plant part		
		Leaf blade	Stalk	Whole plant
		1991		
Dry matter	11—11	77.6 a[y]	93.7 a	88.8 a
	22—22	82.5 a	95.4 a	91.6 a
	44—44	80.9 a	94.1 a	90.8 a
Nitrogen	11—11	75.9 b	85.0 b	79.7 b
	22—22	80.9 a	89.8 a	84.9 a
	44—44	79.9 a	89.6 a	84.4 a
		1992		
Dry matter	11—11	62.1 b	89.7 a	80.1 b
	11—22	66.5 ab	91.3 a	83.3 ab
	22—22	69.5 a	93.0 a	85.3 a
Nitrogen	11—11	67.7 a	71.7 b	69.0 b
	11—22	68.9 a	81.0 a	74.0 a
	22—22	69.9 a	82.5 a	75.1 a

[z] Figures represent, in order, spacings at planting and tassel initiation. Between-row spacing was 75 cm.
[y] Means with the same letter within a column of a specific plant part in the same year are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

在第十二葉期至吐絲期之第二生育階段期間，玉米植株亦可吸收大量氮素，佔吐絲期總含量的 75 %以上。就各器官而言，1991 年試驗葉片所累積的氮素量佔吐絲期葉片氮素總含量的 77.6～82.5 %，處理間無差異；1992 年試驗的比值較低，爲 62.1～69.5 %，密植處理並有偏低的趨勢 (表3) 。在莖稈方面，第二生育階段累積氮素量佔吐絲期含氮量的比值則較葉片部位更高，各處理於兩個年度分別介於 85.0～89.8 %及 71.7～82.5 %之間，以 1992 年之數值較低，除了株距 11 cm處理的比值較低外，其他處理間的差異均不顯著 (表3) 。

臺農一號玉米植株在播種後生育初期的生長較爲緩慢，自第十二葉期以後的生長則較爲快速，此一現象可由表4及表5資料予以更詳細說明。表4資料顯示，1991 年試驗過程中，玉米的作物生長速率隨植株生育期之延伸而明顯提高，而且受到栽培密度極顯著的影響。就每日每公頃的乾物質累積速率而言，最密植（株距 11 cm）處理在播種至第四葉期之間僅爲 1.3 kg，第八至十二葉期爲 84.9 kg，第十二至十五葉期增加至 208.4 kg，而吐絲前約二週期間更高達 389.3 kg，亦即愈接近吐絲期，則作物生長速率愈高；較疏植的兩個處理（株距 22 與 44 cm）在各生育期之間也表現相近的趨勢，但以單位面積爲基準計算之作物生長速率均顯著低於密植處理。

1991 年試驗中植株在各生育期的氮素累積速率資料亦列於表4，其表現與乾物質累積速率相同，自播種後逐漸升高，並以密植處理高於疏植處理。在第八葉期以前，不論栽培密度如何，氮素累積速率均低以 1 kg/ha. day；在密植條件下，第十二葉期以後的氮素累積速率維持於 5 kg/ha. day 以上，吐絲前約二週的期間最高，達 6.36 kg/ha. day，同一期間株距 22 與 44 cm兩處理分別爲 4.42 及 2.88 kg/ha. day（表4）。

表 4. 栽培密度對玉米臺農1號營養生長期間乾物質與氮素累積速率（kg/ha. day）的影響（1991年秋作）

Table 4. Plant-spacing effect on the dry matter (DM) and N accumulation rates (kg/ha. day) of hybrid corn Tainung No.1 at different stages of vegetative growth (fall crop, 1991)

Plant spacing (cm)	Gwowth stage				
	0—4th leaf	4th—8th leaf	8th—12th leaf	12th—15th leaf	15th leaf to silking
	Dry matter				
75×11	1.3 a[z]	21.4 a	84.9 a	208.4 a	389.3 a
75×22	0.8 b	11.3 b	39.6 b	143.1 b	255.5 b
75×44	0.3 c	5.5 c	26.0 c	63.2 c	152.2 c
	Nitrogen				
75×11	0.06 a	1.02 a	2.91 a	4.97 a	6.36 a
75×22	0.04 b	0.53 b	1.44 b	3.88 b	4.42 b
75×44	0.02 c	0.26 c	0.93 c	1.73 c	2.88 c
	Ratio of DMA/Ration of NA				
75×11	21.3 a	21.0 a	29.2 a	42.0 a	61.2 a
75×22	20.6 a	21.2 a	27.5 a	36.9 b	57.8 ab
75×44	21.9 a	21.1 a	28.1 a	36.5 b	52.9 b

[z] Means with the same letter of a column for a specific item are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

1992 年試驗分析植株乾物質與氮素累積速率的結果（表5），趨勢表現與 1991 年試驗相同，亦即累積速率隨植株之生長而增加，以接近吐絲期之速率最高，並以密植（株距 11 cm）處理高於疏植（株距 22 cm）處理；於雄穗分化始期將密植植株予以間拔，使栽培密度與疏植處理相同，其乾物質與氮素累積速率雖有低於疏植處理的趨勢，但在第十五葉期至吐絲期之間的差異已未達顯著水準。在兩個年度之間比較，1992 年試驗第十二葉期以前的乾物質累積速率與第八葉期以前的氮素累積速率，均高於 1991 年試驗結果，但在第十二葉期至吐絲期之間，乾物質與氮素累積速率則反較 1991 年試驗所得數值爲低（表4與表5）。

進一步計算玉米植株乾物質累積速率與氮素累積速率的比值，發現株距爲 11 及 22 cm兩處理之

間，在播種至吐絲的各生育期多無顯著差異，僅有的例外爲 1991 年之第十至十五葉期，與 1992 年之第八至十二葉期，亦即栽培密度並不影響乾物質與氮素的相對累積速率（表4與表5）。1991 年試驗株距 44 cm處理植株生長至第十二葉期以後，其乾物質與氮素累積速率的比值顯著較最密植處理爲低（表4），顯示在增大生長空間的最疏植條件下，更有利於合成乾物質。1992 年試驗於雄穗分化始期將株距自 11 cm 增加至 22 cm後，植株乾物質與氮素累積速率的比值於第十二至十五葉期較低，但在吐絲前約兩週的期間內，與其他兩處理已無差異（表5）。

表 5. 栽培密度對玉米臺農1號營養生長期間乾物質與氮素累積速率（kg/ha. day）的影響（1992年秋作）

Table 5. Plant-spacing effect on the dry matter (DM) and N accumlation rates (kg/ha · day) of hybrid corn Tainung No.1 at different stages of vegetative growth (fall crop, 1992)

Plant spacing[z] (cm)	Gwowth stage				
	0—4th leaf	4th—8th leaf	8th—12th leaf	12th—15th leaf	15th leaf to silking
	Dry matter				
11—11	4.2 a[y]	43.0 a	106.2 a	187.7 a	287.4 a
11—22	(4.2)	(43.0)	68.4 b	113.8 b	223.3 b
22—22	2.3 b	25.8 b	66.1 b	187.2 a	234.9 b
	Nitrogen				
11—11	0.20 a	1.30 a	2.83 a	3.21 a	4.43 a
11—22	(0.20)	(1.30)	1.94 b	2.42 b	3.36 b
22—22	0.11 b	0.78 b	2.05 b	3.39 a	3.54 b
	Ratio of DMA/Ration of NA				
11—11	21.0 a	33.1 a	37.5 a	58.5 a	64.9 a
11—22	(21.0)	(33.1)	35.3 ab	47.0 b	66.5 a
22—22	20.9 a	33.1 a	32.3 b	55.2 a	66.4 a

[z] Figures represent, in order, spacings at planting and tassel initiation. Between-row spacing was 75 cm.

[y] Means with the same letter of a column for a significantly plant part are not significantly different at 5% level by Duncan's MRT.

討 論

本試驗藉由株距處理，以不同密度栽培玉米，每公頃最高種植 121,212 株，植株生育正常，吐絲日期與其他疏植處理相同（1991年）或僅提早1～2日（1992年），無顯著倒伏，亦無高密度栽培時可能發生之不孕（barren）穗現象[20]。1991 年株距爲 11、22 及 44 cm 處理之子粒產量分別爲 9.23、7.44 及 5.35 mt/ha，1992 年株距 11 與 22 cm 處理之產量爲 9.05 與 7.56 mt/ha，於雄穗分化始期間拔使株距由 11 cm 增加至 22 cm，子粒產量爲 6.76 mt/ha[3]，顯示臺農一號爲耐密植栽培之玉米品種。

作物如能保有適度的葉面積指數（leaf area index, LAI），即可維持較高的生長速率，本試驗中玉米植株在播種後初期之生長甚爲緩慢，且栽培密度處理之間沒有顯著差異，主要原因應爲未能建立足夠的葉面積，無法充份利用光能[22]，另一方面顯示臺農一號玉米至少在第八葉期以前，植株生長不受本試驗所採用各種栽培密度的影響（表1），作物生長速率主要爲單位面積株數左右。玉米隨植株之發育而生長速率逐漸增高，第十二葉期以後顯現栽培密度效應，單株的乾物質累積量以密植處

理最低（表1），推測株間已開始產生競爭作用，但單位面積的作物生長速率則持續以密植處理爲高，並於吐絲期前達到最高峰（表4與表5），顯示株間雖有競爭環境資源現象，葉面積指數仍可能爲決定乾物質累積的重要因子。Tetio-Kagho and Gardner[18]指出在臨界葉面積指數（critical LAI）內，玉米的葉面積指數、吸收光能量及光合作用量之間呈直線關係；Williams et al.[22]以每公頃接近70萬株之極高密度栽培玉米，測得雄穗抽出12日之作物生長速率可達520 kg/ha. day，在葉面積指數高達18的情況下，雖然淨同化速率（net assimilation rate）下降，但就乾物質生產而言，卻仍未達到最適（optimum）葉面積指數[23]。上述極高栽培密度與葉面積指數可能在吐絲後的子粒充實期間產生負面作用，並不適合推薦於實際栽培，但可以說明玉米營養生長特性。本試驗採用之最高密度處理爲每公頃約12萬株，最高的作物生長速率出現於吐絲前二週內（389.3 kg/ha. day）（表4），顯示在密植條件下，臺農一號玉米品種仍能維持較高的生長速率；此外，試驗過程中雖未測定葉面積指數，但分析營養生長期各栽培密度處理間乾物質累積量的變化趨向，可能仍未到臨界葉面積指數。

臺農一號玉米植株在播種至吐絲期之間，乾物質累積速率雖因植株生育階段及栽培密度處理而有顯著差異，但如重行分析表1資料，得知乾物質於葉片及莖稈之間的分配比率，則完全未顯示栽培密度效應，兩個年度試驗都有類似表現。葉片乾重佔全株乾重的比率，在1991年試驗自第八葉期之73％左右降低至吐絲期之32％左右，在1992年試驗自第四葉期之70％降至吐絲期之33％。自第十二葉期至吐絲期之間，乾物質累積量極高（表3），其中第十二葉期至第十五葉期的生長以葉片部位爲主，第十五葉期至吐絲期則以莖稈部位爲主（表1），具有特定的生長模式。玉米莖稈在吐絲期以前累積大量非構造性碳水化合物，可以對子粒充實產生一定的作用[15]，因此推知第十二葉期以後，尤其是吐絲前兩週，應爲玉米莖稈累積預貯性碳水化合物的最主要時期。

玉米在營養生長期間的氮素累積與乾物質累積間有一定的關係[10]，植株在生育初期的氮素累積量極低，第十二葉期以後的累積速率逐漸增高，吐絲期之前達到高峰，與乾物質累積模式有相似的表現（表2、4與5）。Russelle et al.[13]以每公頃6萬株之密度栽培玉米，發現在十二葉期至吐絲期之間的氮素累積速率最高，其數值可達92 mg/plant. day；本試驗對應處理（株距22cm）在吐絲前約兩週的累積速率爲72.9（1991年）與55.5（1992年）mg/plant. day，1991年試驗最疏植處理的氮素累積速率爲95.0 mg/plant. day，一般而言，較Russelle et al.[13]之試驗結果略低，但尚在正常範圍內。

葉片是玉米植株在吐絲期以前累積氮素的主要器官，分析表2資料，得知在第四葉期時，葉片的含氮量約爲全株之75％，其後逐漸下降，吐絲期時仍在55％以上，顯著較莖稈所佔比率爲高。吐絲期時，葉片氮素含量佔植株總含氮量之比率以密植處理高於疏植處理，而莖稈部位則有相反的表現，顯示在密植條件下，氮素分配有優先集中於葉片的趨勢，與乾物質的表現不儘相同。Hanway[10]指出吐絲期以前玉米所含氮素在器官之間沒有顯著的轉移現象，吐絲後營養器官氮素轉移至子粒的時序，則以莖稈先於葉片。與疏植處理比較，本試驗密植植株吐絲期莖稈的氮素含量更低於葉片氮素含量，對子粒充實期間的氮素需求是否有所影響，值得注意；唯 Beauchamp et al.[4]認爲基因型間具有影響差異，臺農一號品種的表現有待確定。

Russelle et al.[13]指出第十二葉期至吐絲期爲營養器官累積氮素的重要時期，本試驗也獲得相似結果（表2），並以吐絲前約兩週內的累積速率最高（表4與表5）；於栽培密度處理間比較，雖然累積量具有差異，但同化氮素能力隨生育期之延伸而提高，其趨勢則完全相同。瞭解玉米植株在不同生育階段所吸收的氮素量，可以提供肥培管理所需之重要參考資料[6]；以1991年試驗爲例，株距11、22及44 cm 處理在第十二葉期以前（播種後35日）植株吸收的氮素量分別爲41、21與12 kg/ha，第十二葉期至吐絲前（爲時28日）分別爲161、117及67 kg /ha，亦即播種後35日期間累積之氮素量僅爲吐絲期總量之20％左右，因此如何適度施用基肥與追肥，以提高氮肥施用效率或降低氮肥用

量，值得予以考慮。Russelle et al.[13]探討於播種及第四、八與十六葉期施用氮肥的效果，發現如施以重肥（180 kg N/ha），玉米吸收肥料氮素（fertilizer N）的量以晚施處理較高，如施以輕肥（90 kg N/ha），則氮肥吸收效率以早施處理爲高；提早施用氮肥可增加吐絲期營養器官氮素含量，有助於子粒充實後期累積氮素的能力。另一方面，Bullock et al.[6]指出土壤肥力較高時，施用基肥與否對玉米成熟期全株總乾物質及子粒產量並無影響，不具經濟效益。雖然不同玉米品種對氮肥施用方法的反應有異[17]，但如能瞭解臺農一號玉米品種與氮素累積有關的性狀，配合土壤分析資料，應有可能提高其氮素利用效率，降低生產玉米時之氮肥用量，有益於降低生產成本及環境保育。

本試驗探討玉米臺農一號自播種至吐絲期間之乾物質與氮素累積性狀表現，以及對栽培密度的反應，發現自第十二葉期以後，乾物質與氮素累積速率快速增加，並於吐絲期之前約二週達到高峰。栽培密度在玉米生長至第八葉期以前並無顯著效應，但密植處理可以提高第十二葉期至吐絲期之間的單位面積乾物質與氮素累積量，在整個營養生長期間，乾物質與氮素累積速率逐漸升高的模式則不受栽培密度影響。玉米植株在第十二葉期至吐絲期所累積的氮素量，爲吐絲期含氮量的 80 %以上，其間第十五葉期至吐絲期的累積量即佔吐絲期含氮量的 50 %以上，可以供爲決定如何提高肥培管理效率的部份依據。

誌 謝

本計畫承農業委員會補助（81農建—12.2—糧—47— 3 及82科技—2.1—糧—33— 3），謹致謝意。

引用文獻

1. 王強生、王碧玉、劉大江。1988。玉米對溫度與光週期之生長反應。中華農業研究 37：379—388。
2. 王強生、林淑霧、劉大江。1989。玉米產量及相關生理性狀對栽培密度的反應。刊載於「玉米生理遺傳與育種研討會論文集」（謝昱暐、劉大江、朱德民、黃懿秦合編）。中央研究院植物研究所專刊第7號，第99—118頁。臺北市。
3. 魏夢麗、姜義展、陳烈夫、劉大江。1994。玉米營養生長期光合物質及氮素累積性狀與產量關係之研究。中華農業研究 43：143—154。
4. Beauchamp, E. G., L. W. Kannenberg, and R. B. Hunter. 1976. Nitrogen accumulation and translocation in corn genotypes following silking. Agron. J. 68：418—422.
5. Below, F. E., L. E. Christensen, A. J. Reed, and R. H. Hageman. 1981. Availability of reduced N and carbohydrates for ear development in maize. Plant Physiol. 68：1186—1190.
6. Bullock, D. G., F. W. Simmons, I. M. Chung, and G. I. Johnson. 1993. Growth analysis of corn grown with or without starter fertilizer. Crop Sci. 33：112—117.
7. Cross, H. Z. 1990. Selection for rapid leaf expansion in early-maturing maize. Crop Sci. 30：1029—1032.
8. Edmeades, G. O. and T. B. Daynard. 1979. The relationship between final yield and photosynthesis at flowering in individual maize plants. Can. J. Plant Sci. 59：585—601.
9. Genter, C. F., G. D. Jones, and M. T. Carter. 1970. Dry matter accumulation and depletion in leaves, stems and ears of maturing maize. Agron. J. 62：535—537.
10. Hanway, J. J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility. II. Uptake of N, P, and their distribution in different plant parts during the growing season. Agron. J. 54：217—222.
11. Hawkings, R. C. and P. J. M. Cooper. 1981. Growth, development and grain yield of maize. Exp. Agric. 17：203—207.
12. Nevado, M. E. and H. Z. Cross. 1990. Diallel analysis of relative growth rates in maize synthetics. Crop Sci. 30：549—552.

13. Russelle, M. P., R. D Hauck, and R. A. Olson. 1983. Nitrogen accumulation rates of irrigated maize. Agron. J. 75 : 593—598.

14. Schrader, L. E. 1984. Functions and transformations of nitrogen in higher plants. In: Nitrogen in Crop Production (R. D. Hauck, ed.) . Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc.

15. Simmons, S. R. and R. J. Jones. 1985. Contribution of presilking assimilate to grain yield in maize. Crop Sci. 25 : 1004—1006.

16. Swank, J. C., F. E. Below, R. J. Lambert, and R. H. Hageman. 1982. Interaction of carbon and nitrogen metabolism in the productivity of maize. Plant Physiol. 70 : 1185—1190.

17. Teare, I. D. and D. L. Wright. 1990. Corn hybrid-starter fertilizer interaction for yield and lodging. Crop Sci. 30 : 1298—1303.

18. Tetio-Kagho, F. and F. P. Gardner. 1988. Responses of maize to plant population density. I. Canopy development, light relationships, and vegetative growth. Agron. J. 80 : 930—935.

19. Tollenaar, M. and T. W. Bruulsema. 1988. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. Agron. J. 80 : 580—585.

20. Tollenaar, M., L. M. Dwyer, and D. W. Stewart. 1992. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. Crop Sci. 32 : 432—435.

21. Wang, C. S., C. C. Chen, and D. J. Liu. 1990. Growth reponse to various cultural practices of corn grown in paddy fields. Tech. Bul. No. 120. Food & Fert. Tech. Center, Taipei. 15p.

22. Williams, W. A., R. S. Loomis, and C. R. Lepley. 1965. Vegetative growth of corn as affected by population density. I. Productivity in relation to interception of solar radiation. Crop Sci. 5 : 211—215.

23. Williams, W. A., R. S. Loomis, and C. R. Lepley. 1965. Vegetative growth of corn as affected by population density. II. Components of growth, net assimilation rate and leaf-area index. Crop Sci. 5 : 215—219.

The Effects of Planting Density on the Growth and Yield of Corn

I. Vegetative Growth Phase[1]

Meng-Li Wei[2], Lit-Fu Chan[3], Yih-Jan Jiang[2] and Dah-Jiang Liu[2]

Summary

Information pertaining to the growth characteristics of corn during vegetative growth is limited. The purpose of this experiment was to investigate the patterm of dry matter and N accumulation of corn hybrid Tainung 1 from sowing to silking and to study their responses to plant spacing treatments. Field experiments were conducted in the fall crops of 1991 and 1992 with a row spacing of 75 cm. Within-row spacings were 11, 22, or 44 cm in 1991, and 11 or 22 cm in 1992. In 1992, the spacing was altered from 11 cm to 22 cm in part of the plots by thinning the stand at tassel initiation. The effects of plant spacing on dry matter and N accumulation were not significant until the 12th leaf stage. From the 12th leaf stage to silking, the proportion of dry matter and N accumulated by the leaf blade decreased while that by the stalk showed an increasing trend. During this period, the amounts of dry matter and N accumulation by the plants accounted for 80~92% and 69~85%, respectively, of the accumulation at silking stage. Dense planting resulted in lower ratios as compared to other treatments. The growth rate increased continuously and peaked as the plants approached silking. The highest accumulation rates were 389 kg/ha. day for dry matter and 6.4 kg/ha. day for N, and decreased with decreasing population density. During the entire vegetative growth phase, the ratio of dry matter accumulation rate to N accumulation rate increased continuously, however, no significant difference was recorded among plant spacing treatments. This indicate that the amount of dry matter accumulated per unit of tissue N was different according to developmental stage but was less affected by environmental factors.

Key words : *Zea mays,* plant spacing, vegetative growth, dry matter accumulation, N accumulation.

1. Contribution No. 1766 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Respectively, Research Assistant, Assistant, and Senior Agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Research Assistant, Office of Farm Management, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.